# ELEKTRISCHE NACHRICHTEN-TECHNIK

Unter Mitwirkung von: G. Graf v. Arco, H. Barkhausen, F. Breisig, K. Dohmen, E. Falkenthal, E. Feyerabend, A. Franke, W. Hahnemann, J. Harbich, R. Hartz, H. Hecht, C. Hersen, K. Höpfner, H. Jordan, A. Korn, A. Kruckow, A. Kunert, F. Lüschen, W. Ohnesorge, C. Ramsauer, M. Reich, O. Reichenheim, H. Rukop, O. Scheller, W. Stäckel, H. C. Steidle, K. Winnig, G. Zapf und J. Zenneck / Herausgegeben von K. W. Wagner / Schriftleiter: F. Moench und H. Salinger / Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

HEFT 2 * FEBRUAR 1934 * BAND 11


# Die funkwissenschaftliche Expedition der Heinrich-Hertz-Gesellschaft nach Tromsö (Norwegen)*).


Von Karl Willy Wagner, Berlin.



DK 621.396.812
551.594.5


## 1. Geschichtliche Vorbemerkungen.

Vor wenig mehr als einem Jahrzehnt glaubten wir, eine einfache, theoretisch wohlbegründete und durch die damals vorliegenden Erfahrungen durchaus bestätigte Vorstellung von der Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen längs der Erdoberfläche zu besitzen. Nach dieser Vorstellung wurde der Ausbreitungsvorgang in der Hauptsache bestimmt durch die Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstante des Bodens, während dem Luftraum über der Erde im wesentlichen die Eigenschaften des leeren Raumes zugeschrieben wurden. Die hierauf fußende und aus den Maxwellschen Gleichungen entwickelte Theorie des Ausbreitungsvorganges wurde von Zenneck[1]) begründet und von Sommerfeld[2]) und anderen[3]) weiter ausgebaut. Sie lehrte, daß zur drahtlosen Überwindung wachsender Entfernungen immer längere Wellen und größere Leistungen notwendig seien, und führte in der Praxis des transkontinentalen Funkverkehrs zum Bau gigantischer Antennentürme mit ausgedehnten Strahlern, die mit vielen Hunderten von Kilowatt hochfrequenter Leistung gespeist wurden. Aber selbst diese elektrotechnischen Mammutgebilde waren nicht imstande, die ununterbrochene Betriebsbereitschaft auf den Funklinien des großen Weltverkehrs zu gewährleisten.

So war die Lage, als um das Jahr 1922 die Zeitungen von erfolgreichen Versuchen von Funkliebhabern berichteten, bei denen mit kurzen Wellen und kleiner Leistung Tausende von Kilometern über Land und über See überbrückt worden waren. Die meisten Fachleute haben diese Nachrichten damals für unglaubwürdig gehalten. Bestenfalls hielt man diese Verbindungen für ein Zufallsergebnis; man erinnerte sich, daß auch schon während des Krieges gelegentlich ein kleiner schwacher Funksender der Westfront weitab in Kleinasien gehört worden war, ohne daß man sich dieses Rätsel hätte erklären können, das mit allen festgefügten Theorien in krassem Widerspruch stand. Als sich dann aber die enorme Reichweite kurzer Wellen bestätigte, blieb keine andere Erklärung, als daß diese Wellen sich von der sehr stark dämpfenden Erdoderfläche lösen müssen und ihren Weg hoch oben in der Atmosphäre zurücklegen. Hierbei entstand die Frage, wie die Wellen auf langen Strecken die Erdkrümmung überwinden und wie sie überhaupt nach der Erdoberfläche zum Empfangsgerät zurückgelangen. Nun hatte schon 20 Jahre früher, im März 1902, als es eigentlich

*) Aus dem am 21. November 1933 vor dem Elektrotechnischen Verein und der Heinrich-Hertz-Gesellschaft gehaltenen Vortrag. Ein kurzer Vorbericht ist in den Sitzungsberichten der Preuß. Akad. d. Wissenschaften, phys.-math. Klasse, S. 910, 1933 veröffentlicht.

[1]) J. Zenneck: Über die Fortpflanzung ebener elektromagnetischer Wellen längs einer ebenen Leiterfläche und ihre Beziehung zur drahtlosen Telegraphie. Ann. d. Phys. (5) **23**, S. 846, 1907.

[2]) A. Sommerfeld: Über die Ausbreitung der Wellen in der drahtlosen Telegraphie. Ann. d. Phys. (5) **28**, S. 665, 1909.

[3]) Zusammengefaßt in dem von A. Sommerfeld bearbeiteten Kap. XVI in Riemann-Weber, Differentialgleichungen der Physik, II. Teil, 7. Aufl., Braunschweig 1927.

noch gar keinen Funkweitverkehr gab, A. E. Kennelly[4]) die Anschauung vertreten, daß die Ausbreitung der elektrischen Wellen wesentlich beeinflußt sei durch eine elektrisch leitende Schicht in der höheren Atmosphäre; die Höhe ihrer unteren Begrenzung berechnete er auf etwa 80 bis 90 km. Oliver Heaviside vertrat in einer kurz danach in der Britischen Enzyklopädie erschienenen Abhandlung ähnliche Gedanken. Die Fachwelt stand diesen Anschauungen lange Zeit skeptisch gegenüber. Kennelly ergänzte sie 1913 durch die Vorstellung, daß die Leitfähigkeit der verdünnten Luft in den hohen Schichten durch die ionisierende Wirkung der Sonnenstrahlung hervorgerufen wird. Inzwischen hatte schon 1912 W. H. Eccles[5]) die Wellenausbreitung in ionisierten Gasen theoretisch untersucht. An all' diese Arbeiten erinnerte man sich, als die mit Kurzwellen erzielten, unerwartet großen Reichweiten bekannt wurden. Ich möchte mit diesen Ausführungen nicht den Eindruck erwecken, als ob die Fachleute bis 1922 aus Vorurteil oder Mangel an Einsicht sich der Vorstellung von der möglichen Existenz einer wellenleitenden Schicht in der hohen Atmosphäre verschlossen hätten. Die Sache lag vielmehr so, daß man glaubte, die bis dahin vorliegenden gesicherten Erfahrungstatsachen über die Reichweiten in der Funktelegraphie ohne die Annahme einer wellenleitenden Schicht durchaus befriedigend erklären zu können. Anderseits wußte man so wenig über die physikalischen und insbesondere die elektrischen Eigenschaften der hohen Atmosphäre, daß die von Kennelly und Heaviside angedeuteten Möglichkeiten recht wenig begründet erschienen. Die von den Amateuren entdeckten und von den Fachleuten aller Länder alsbald bestätigten großen Reichweiten der Kurzwellen änderten die Sachlage durchaus. Man mußte sich jetzt an die hypothetische Kennelly-Heaviside-Schicht halten, da man auf andere Weise die Kurzwellenreichweiten überhaupt nicht erklären konnte. Wenn nun hoch oben in der Atmosphäre sich eine Schicht befindet, die einen guten Leiter für die elektrischen Wellen darstellt, so müssen Wellen, die man nach dieser Schicht hinaufstrahlt, von ihr nach der Erde zurückgeworfen und unten beobachtet werden können; ja, man muß aus dem Zeitunterschied zwischen der Sendung und dem Empfang der Wellen die Höhe der Schicht bestimmen können. Solche Überlegungen wurden etwa gleichzeitig von E. V. Appleton und M. A. F. Barnett[6]) in England und von den amerikanischen Physikern G. Breit und M. A. Tuve[7]) angestellt und mit verschiedenen Methoden experimentell geprüft und bestätigt. Damit war nun zugleich ein Verfahren gegeben, die Eigenschaften der höchsten Schichten der Atmosphäre zu untersuchen, die ja auf andere Weise bis jetzt nicht zugänglich sind. Dieses Verfahren entspricht der bekannten Echolotung von Meerestiefen mittels akustischer Wellenimpulse und wird daher oft als elektromagnetische Echolotung bezeichnet.

Kürzlich hat F. Noether[8]) darauf hingewiesen, daß die wellenleitende Schicht in der hohen Atmosphäre auch bei der Ausbreitung der langen elektrischen Wellen eine bedeutsame, vielleicht sogar die entscheidende Rolle spielt. Er zeigte, daß die oben genannten, von Zenneck, Sommerfeld und anderen gegebenen, theoretischen Lösungen des Ausbreitungsproblems, bei denen eine elektrisch homogene Atmosphäre vorausgesetzt wird, einer räumlichen Verteilung des Energiestromes entsprechen, die sich mit der Herkunft der Wellenstrahlung aus einer dicht über der Erdoberfläche befindlichen Senderantenne (Dipol) kaum vereinbaren läßt.

Die vollständige theoretische Darstellung des Vorganges der Ausbreitung elektrischer Wellen, die von einer auf der Erde befindlichen Strahlungsquelle ausgehen, unter Berücksichtigung der Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstante der Erde, sowie der dispergierenden Eigenschaften der hohen Atmosphäre steht noch aus. Um so bedeutungsvoller sind zur Zeit alle diejenigen Arbeiten, die durch die experimentelle Erforschung des Aus-

[4]) El. World and Engineer, v. 13. 3. 1902, S. 473. Vgl. auch den Bericht über diese Angelegenheit in der ENT **8**, S. 513, 1931.

[5]) W. H. Eccles, Proc. Roy. Soc. (A) **87**, S. 79, 1912.

[6]) E. V. Appleton und M. A. F. Barnett: Proc. Roy. Soc. A, **113**, S. 450, 1926.

[7]) G. Breit und M. A. Tuve: Phys. Rev. **28**, S. 554, 1926.

[8]) F. Noether: Ausbreitung elektrischer Wellen über der Erde; Teil II E der Vortragsreihe „Funktionentheorie und ihre Anwendungen in der Praxis", herausgegeben von R. Rothe, F. Ollendorf und K. Pohlhausen, Berlin 1931.
Derselbe: Bemerkungen über das Ausbreitungsgesetz für lange elektrische Wellen und die Wirkung der Heavisideschicht, ENT **10**, S. 160, 1933.

breitungsvorganges unsere Tatsachenkenntnis auf diesem Gebiete vermehren.

## 2. Die wichtigsten Ergebnisse der Ionosphärenforschung.

Es ist nicht die Aufgabe dieses Vortrages, die ausgedehnte experimentelle und theoretische Forschungstätigkeit zu schildern, die sich an die ersten grundlegenden Beobachtungen über die Reflexion von elektrischen Wellen an der Kennelly-Heavisideschicht angeschlossen hat; ich darf mich hier auf den Vortrag beziehen, in dem Herr Professor Rukop[9]) vor einem Jahre in Nauheim einen ausgezeichneten Überblick über den derzeitigen Stand der Wellenforschung in der oberen Atmosphäre gegeben hat. Es genügt hier, die wichtigsten Ergebnisse der Forschung kurz zu nennen.

a) Man hat zwei Hauptgebiete starker Ionisation festgestellt. Das untere hat die Form einer ziemlich scharf begrenzten flachen Schicht und erstreckt sich etwa von 90 bis 115 km Höhe; das obere Gebiet erscheint nur nach unten bei etwa 220 km Höhe einigermaßen gut abgegrenzt, während es sich nach oben bis in sehr große Höhen auszudehnen scheint, ohne daß man eine ausgesprochene obere Grenze angeben kann. Ob dieses zweite Hauptgebiet, wie manche Forscher meinen, sich in mehrere Teilgebiete gliedert, muß z. Zt. noch dahingestellt bleiben. Das Gesamtgebiet der ionisierten oberen Atmosphäre wird nach dem Vorschlag von Appleton als Ionosphäre bezeichnet, zum Unterschied von der darunter liegenden Stratosphäre und der zwischen Stratosphäre und Erdoberfläche befindlichen Troposphäre, der Region der Wolken und Winde.

b) Die Geschwindigkeit der Wellenimpulse in der Ionosphäre ist von der Ladungsdichte und Frequenz stark abhängig und kann wesentlich kleiner als die Lichtgeschwindigkeit sein. Das Produkt aus der Laufzeit der Welle und der Lichtgeschwindigkeit liefert daher nicht die wirkliche, sondern eine scheinbare Höhe des Reflexionspunktes.

c) Für jede Schicht gibt es eine Grenzwelle, die vom Einfallswinkel und von der größten Ladungsdichte abhängt; kürzere Wellen werden nicht reflektiert, sondern durchdringen die Schicht. Aus der bei senkrechtem oder nahezu senkrechtem Einfall gemessenen Grenzwelle kann man also die größte Ladungsdichte berechnen.

d) Manchmal werden die Wellen an der Schicht in so vollkommener Weise zurückgeworfen, daß sie mehrmals zwischen der Erdoberfläche und der Schicht hin- und herlaufen können (Mehrfachreflexionen).

e) Durch das magnetische Erdfeld wird die Ionosphäre doppelbrechend, d. h. die linear polarisierte Welle des Senders wird in zwei elliptisch polarisierte Wellen mit verschiedener Wellengeschwindigkeit und verschiedener Dämpfung aufgespalten. Unter gewissen Umständen sind beide Wellenkomponenten schwach gedämpft; dann gelangen sie beide zur Erde und können im Empfangsgerät getrennt beobachtet werden. Der Vorgang der Doppelbrechung hängt auch von dem Winkel zwischen dem Wellenstrahl und dem Erdfeld ab; in Ostwestrichtung laufende Wellen verhalten sich also anders als solche in der Nordsüdrichtung. Aus der Tatsache der Doppelbrechung kann man schließen, daß der wirksame Teil der Ladung der Ionosphäre aus Elektronen besteht.

## 3. Probleme der Ionosphärenforschung und ihre Bedeutung.

Aus all diesen Feststellungen ergibt sich, daß man in der elektromagnetischen Echolotung ein Verfahren zur Erforschung der hohen Atmosphäre von großer Tragweite besitzt; denn aus der fortlaufenden Beobachtung der Stärke, der Laufzeit und der Polarisation der Echos bei verschiedener Wellenlänge lassen sich tiefgehende Schlüsse auf die elektrische Beschaffenheit der Ionosphäre ziehen. Der Forschung auf diesem Gebiete stehen noch große Aufgaben bevor; sie hat zwar sehr rege eingesetzt, ist aber noch nirgends zu endgültigen oder gar abschließenden Ergebnissen gelangt.

Die Erforschung der Ionosphäre ist in verschiedener Hinsicht von großer Bedeutung; von der praktischen Seite gesehen, besonders für die drahtlose Telegraphie und Telephonie, den Rundfunk und das Fernsehen, sowie für die Meteorologie; in wissenschaftlicher Beziehung für viele Probleme der Geophysik und der kosmischen Physik.

Für jede Art von Fernübertragung mit kurzen elektrischen Wellen spielen die Eigenschaften der Ionosphäre eine entscheidende Rolle. Es ist daher

[9]) H. Rukop: Der Stand der Wellenforschung in der oberen Atmosphäre, ENT **10**, S. 41, 1933.

wichtig, das normale Verhalten der Ionosphäre und ihre regelmäßigen Veränderungen unter dem Einfluß der Tages- und Jahreszeiten zu kennen; man muß ferner wissen, welchen Störungen sie durch besondere Vorgänge unterworfen ist. Hierzu gehören u. a. erdmagnetische Stürme und Nordlichter, vielleicht auch ausgedehnte Gewitter. Es ist durchaus denkbar, daß die mit solchen Gewittern verbundenen gewaltigen elektrischen Felder bis in die Ionosphäre hinaufreichen und deren Zustand wesentlich beeinflussen. Auch außerhalb von Gewitterzonen scheint es, als ob Zusammenhänge zwischen der Wetterlage in den bodennahen Schichten und den Eigenschaften der hoch darüber befindlichen Ionosphäre beständen.

Nach allen bisher vorliegenden Beobachtungen kann es wohl als sichergestellt gelten, daß die normalen elektrischen Eigenschaften der Ionosphäre und ihre regelmäßigen Veränderungen durch die ionisierende Wirkung der ultravioletten Sonnenstrahlung bestimmt sind. Daneben spielt aber auch die Korpuskularstrahlung der Sonne eine bedeutende Rolle. Diese Strahlung vollzieht sich in unregelmäßigen Ausbrüchen in einem engen Zusammenhange mit dem Erscheinen von Sonnenflecken. Über die Art ihrer Zusammensetzung aus geladenen und ungeladenen Teilchen weiß man bisher sehr wenig. Nach C. Störmer besteht sie mindestens zum Teil aus Elektronen. Die Elektronenstrahlen werden, sobald sie in den Bereich des erdmagnetischen Feldes gelangen, nach dem magnetischen Pol hin abgelenkt. Sie regen bei ihrem Durchtritt durch die hohen Atmosphärenschichten die Moleküle oder Atome zum Leuchten an und rufen so die schöne Erscheinung des Nordlichtes hervor. Die elektrischen Ladungen der Korpuskularstrahlung beeinflussen die elektrische Ladung der Ionosphäre; in hohen Schichten durch ihre ionisierende Wirkung, in tieferen Schichten auch dadurch, daß sie selbst absorbiert werden. Man hat auch einen engen Zusammenhang zwischen der Korpuskularstrahlung und den Störungen des magnetischen Erdfeldes nachgewiesen.

Der praktische Einfluß der Korpuskularstrahlung auf die Ausbreitung der elektrischen Wellen kann sehr bedeutend werden. Zur Zeit starker Ausbrüche, die meist auch mit magnetischen Stürmen verbunden sind, war manchmal der ganze transkontinentale Kurzwellenfunkverkehr lahmgelegt. Auf Erscheinungen dieser Art war vermutlich auch der vollständige Ausfall der Kurzwellenverbindung mit dem Luftschiff „Graf Zeppelin" während eines Teiles seiner Polarfahrt zurückzuführen.

### 4. Forschungen in der Polarzone.

Wie ich bereits erwähnte, macht sich der Einfluß der Korpuskularstrahlung wegen der erdmagnetischen Ablenkung in den Polargegenden am stärksten geltend. Zum Studium dieser Erscheinung bietet daher die Polarzone die beste Gelegenheit. Aus diesem Grunde haben wir bereits vor mehreren Jahren den Gedanken einer funkwissenschaftlichen Expedition nach Spitzbergen erwogen. Der Plan wurde dann zurückgestellt, weil die Mittel der Gesellschaft für andere Zwecke gebraucht wurden. Im Zusammenhang mit der von der AEG durchgeführten Nordlichtforschung in Tromsö im nördlichen Norwegen (Breite 69° 39,3′; Länge 18° 56,7′ östlich von Greenwich) wurde seit 1931 der Gedanke einer funkwissenschaftlichen Expedition dorthin erneut behandelt. Zur wissenschaftlichen Vorbereitung einer solchen Expedition wurde eine „Arbeitsgemeinschaft für die Elektro-Physik der hohen Atmosphäre" gebildet, der die daran interessierten Forscher und Institute angehören, wie ich bereits im Vorjahre berichtet habe. Der Zeitpunkt für die Expedition erschien insofern besonders günstig, als für die Zeit vom August 1932 bis August 1933 das Internationale Polarjahr vorgesehen war. Im Rahmen dieser Veranstaltung haben zahlreiche Länder wissenschaftliche Expeditionen nach den Polargegenden entsandt mit der Aufgabe, geophysikalische Beobachtungen aller Art regelmäßig an verabredeten Tagen auszuführen. Durch eine so umfassende Beobachtungstätigkeit kommt während des Polarjahres ein reiches Tatsachenmaterial zusammen, wie es zu anderen Zeiten nicht zu Gebote steht, und das auch für die Auswertung der Ergebnisse unserer eigenen Expedition von großem Wert sein wird.

Eine funkwissenschaftliche Expedition wurde für die Dauer des Polarjahres auch von den Engländern nach Tromsö entsandt. Sie war von Professor Appleton unter Mitwirkung von Dr. Watson Watt organisiert und geleitet und hatte die Aufgabe übernommen, elektromagnetische Echolotungen durchzuführen. Es war daher not-

wendig und zweckmäßig, mit den Engländern ein Abkommen über die Verteilung der Arbeiten herbeizuführen. Dank dem Entgegenkommen von Herrn Prof. Appleton wurde die Verständigung schnell erreicht. Auf Grund desselben hat unsere Expedition einen Teil der Echosendungen des englischen Senders empfangen und auf einer der international vereinbarten Wellenlängen Dauerregistrierungen parallel zu den auf anderer Wellenlänge gemachten englischen Registrierungen durchgeführt. Im übrigen wurde während der Dauer des Polarjahres der englischen Expedition, die vor der unsrigen am Platze war und über größere Erfahrungen in der Echolotung verfügte, bei der Bearbeitung dieses Gebietes der Vorrang überlassen und dafür das Schwergewicht unserer eigenen Arbeit auf die folgenden **Programmpunkte** gelegt:

1. photoelektrische Messung und Registrierung der Nordlichthelligkeit;
2. Registrierung der Feldstärke und der Peilschwankungen europäischer Rundfunksender;
3. weitere Ausbildung und Anwendung unseres Verfahrens der Echoregistrierung.

Die für diese Arbeiten notwendigen Versuchsgeräte wurden im Sommer 1932 im Heinrich-Hertz-Institut unter der Leitung von Herrn Prof. Leithäuser und Mitwirkung der Herren Dr.-Ing. Hollmann und Fehr von den für die Expedition ausersehenen Herren Dr.-Ing. Kreielsheimer und Ingenieur Stoffregen selbst entwickelt und gebaut. Leider hat sich die Lieferung und Erprobung verschiedener Zubehörteile bis in den Spätherbst verzögert, so daß die Expedition erst im Dezember 1932 ausreisen konnte.

Einen wesentlichen Anteil am Zustandekommen der Expedition hat das norwegische Institut für kosmische Physik in Oslo, das ihr in dem Nordlichtobservatorium in Tromsö in sehr entgegenkommender Weise Gastrecht gewährt. Besonderer Dank gebührt auch dem Direktor des Observatoriums, Herrn Harang, seinem Assistenten Herrn Tönsberg und dem Mechaniker des Observatoriums, Herrn Jakobsen, die unseren Herren jede mögliche Unterstützung zuteil werden lassen. Ferner gedenke ich bei dieser Gelegenheit mit Dank der uns von der AEG und der I. G. Farbenindustrie A. G. gegebenen wertvollen Beihilfen. Die AEG ermöglicht der Expedition den Bezug der für die Echoregistrierung nötigen Elektronenstrahlröhren hoher Empfindlichkeit und Helligkeit zu vorteilhaften Bedingungen; einen Teil der Röhren hat sie geschenkt; ferner hat sie auch die hochempfindlichen Photozellen zur Verfügung gestellt. Die I. G. Farbenindustrie stiftete einen großen Posten photographischen Materials. Im übrigen werden sämtliche Kosten des Unternehmens von der Heinrich-Hertz-Gesellschaft getragen.

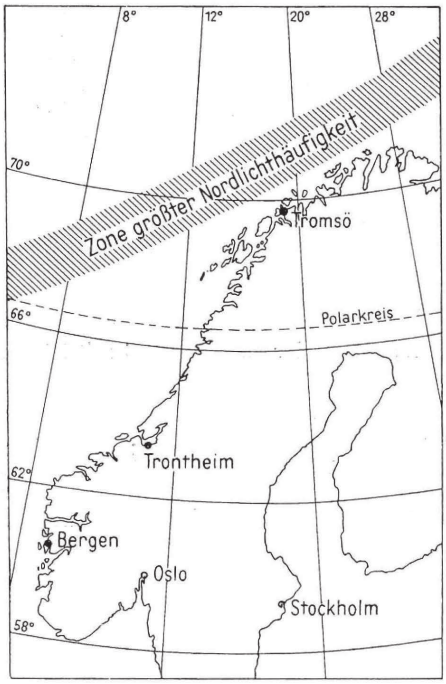


Abb. 1. Karte von Skandinavien mit Tromsö und der Zone größter Nordlichthäufigkeit.

## 5. Ausrüstung und vorläufige Ergebnisse der Expedition der Heinrich-Hertz-Gesellschaft.

### a) Allgemeines.

Lassen Sie mich jetzt einen kurzen Überblick über die Ausrüstung und die Arbeiten der Expedition geben; hinsichtlich der von ihr bisher erzielten Ergebnisse muß ich mich auf wenige vorläufige Mitteilungen beschränken. Da die Expedition den vergangenen Winter 1932/33 nur zur Hälfte ausnutzen konnte, es aber notwendig ist, eine vollständige Beobachtungsreihe mindestens über eine ganze Winterperiode zu besitzen, werden die Beobachtungen zur Zeit noch fortgesetzt. Erst nach der Rückkehr der Expedition wird man an die systematische Bearbeitung des sehr umfangreichen Beobachtungsstoffes gehen können. Bei dieser Sachlage wäre es verfrüht, von Ergebnissen

zu sprechen; lediglich auf einige, wie wir glauben, bemerkenswerte neue Erkenntnisse soll kurz hingewiesen werden.

Die geographische Lage von Tromsö zeigt Abb. 1; wenig nördlich davon verläuft die Zone größter Nordlichthäufigkeit. Abb. 2 ist eine Über-

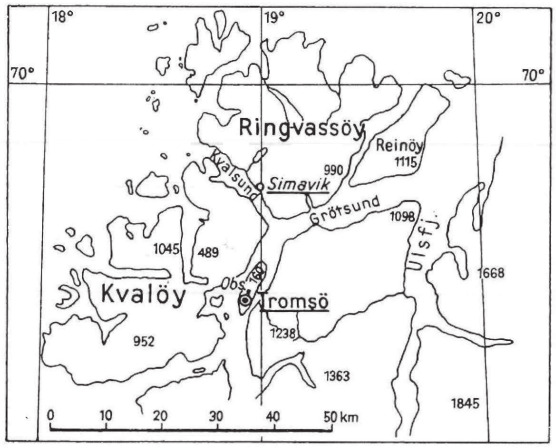


Abb. 2. Umgebung der Insel Tromsö mit Höhenangaben.

sichtskarte der Umgebung der Insel Tromsö mit dem gleichnamigen Städtchen; ziemlich genau nördlich davon liegt auf der großen Insel Ringvassöy der Ort Simavik, wo während des

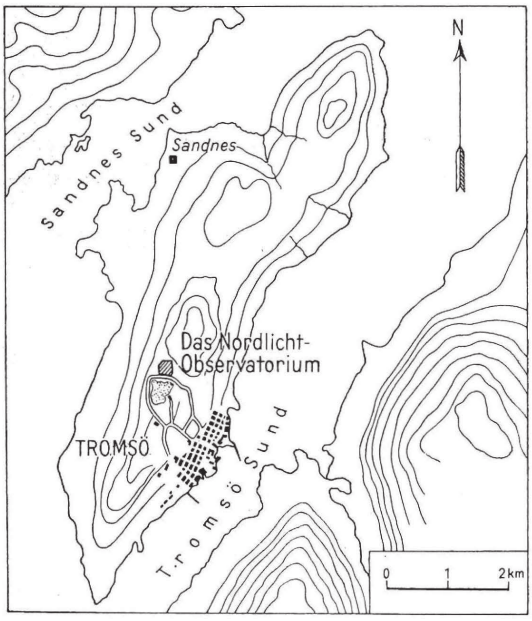


Abb. 3. Karte der Insel Tromsö.

Polarjahres der Sender der englischen Expedition sich befand. Abb. 3 ist eine Karte der Insel Tromsö mit der Stadt, dem Nordlichtobservatorium und dem rd. 3,6 km nördlich von diesem liegenden Ort Sandnes; hier haben wir nach dem Abbau des englischen Senders einen eigenen Sender zur Ausstrahlung der Echoimpulse aufgestellt. Abb. 4 zeigt eine Ansicht des Nordlichtobservatoriums auf Tromsö und des zugehörigen Wohnhauses.

### b) Messung und Aufzeichnung der Nordlichthelligkeit.

Nach dem ursprünglichen Plan sollte das Nordlicht durch einen großen Hohlspiegel von 1,10 m Durchmesser auf eine im Brennpunkt befindliche Photozellenanordnung geworfen werden; der Lichtstrom wird durch einen rotierenden Spiegel zerhackt, so daß ein niederfrequent modulierter Zellenstrom entsteht (Abb. 5). Mit dieser Niederfrequenz wird ein kleiner Hochfrequenzoszillator

Abb. 4. Nordlichtobservatorium auf Tromsö, nebst Wohnhaus.

moduliert, der durch einen normalen, sehr empfindlichen Rundfunkempfänger aufgenommen wird. Der Ausgangsstrom dieses Empfängers wird gleichgerichtet und auf ein schreibendes Milliamperemeter gegeben. Die Apparatur wurde im Heinrich-Hertz-Institut an Lampen, deren spektrale Verteilung der des Nordlichts nahekommt und an projizierten farbigen Nordlichtern erprobt. Die Verbindung zwischen Photozelle und Verstärkereingang mußte so kurz wie möglich gehalten werden, um eine Schwächung durch Parallelkapazitäten zu vermeiden. Es war deshalb erforderlich, die Geräte in Kisten einzubauen und im Freien aufzustellen.

Abb. 6 zeigt den großen Spiegel; im Brennpunkt des Spiegels ist die Photozelle zu erkennen, neben dem Spiegel befinden sich die Kisten mit

der elektrischen Apparatur. Die Unbilden der Witterung zwangen bald dazu, einen Teil der Geräte in einem selbstgebauten Zelt unterzubringen, das in Abb. 7 dargestellt ist, die während eines Schneesturms aufgenommen wurde; neben dem Zelt der umgeklappte Hohlspiegel, außerdem die noch zu erwähnenden Empfangsrahmen. Abb. 8 gibt einen Eindruck von der oft schwierigen Expeditionsarbeit im Polarwinter.

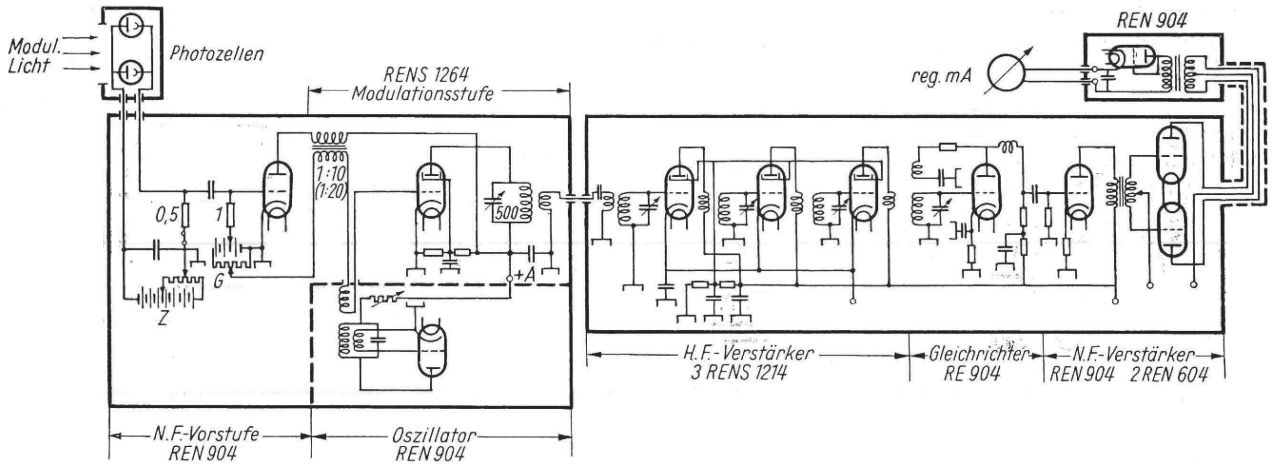


Abb. 5. Schaltung des Nordlichtphotometers.

Sektor heraus; bei rasch wandernden Nordlichtern ist es schwierig, dem Punkt größter Helligkeit mit der Spiegelachse nachzufolgen, zumal wenn die Gelenke des großen schweren Spiegels eingefroren sind. Daher wurde versucht, die Photozelle unmittelbar als elektrisches Auge zu benutzen. Dies gelang überraschend gut. Die Verstärkung ließ sich so weit steigern, daß der klare Nachthimmel bereits 0,2 mA Ausschlag am Registrierinstrument brachte, während bei starken Nordlichtern häufig der Maximalausschlag von 5 mA überschritten wurde. Da die Photozelle am Himmel einen Kegel von 120° Öffnung mit Sicherheit erfaßt, wird jetzt die gesamte Nordlichthelligkeit aufgezeichnet, auch wenn sich das Nordlicht über eine weit ausgedehnte Himmelsfläche erstreckt (siehe Abb. 9 und 10). Die Modulierung des Lichtstromes geschieht durch die

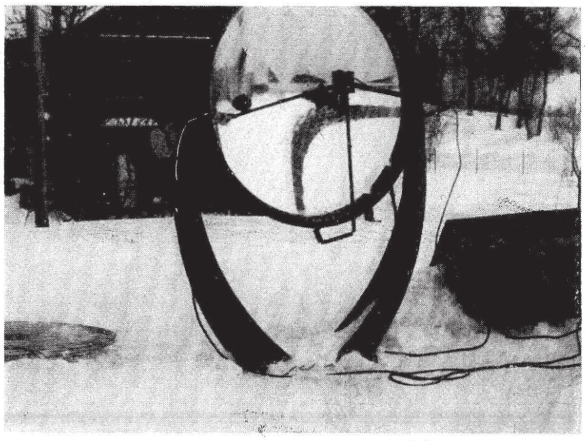

Abb. 6. Großer Hohlspiegel zur Aufnahme der Nordlichthelligkeit.

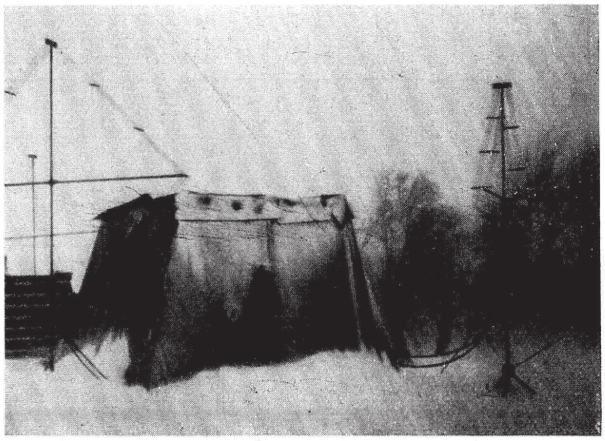

Abb. 7. Beobachtungszelt mit Rahmenantennen im Schneesturm.

Die Verwendung des Hohlspiegels bei den Helligkeitsmessungen führte zu mancherlei Unzuträglichkeiten. Die große Spiegelfläche beschlägt sich mit Schnee und Eis; es ist nicht möglich, die Oberfläche während der Beobachtungen genügend rein zu halten, so daß eine erhebliche Unsicherheit in die Helligkeitsmessung hineinkommt. Außerdem schneidet der Hohlspiegel aus der gesamten Himmelsfläche einen zu kleinen

vor der Photozelle umlaufenden Flügel eines kleinen Ventilators (Abb. 11). Mit der gesteigerten Empfindlichkeit ergab sich noch ein Vorteil; man konnte am Ausgang des Verstärkers über ein Relais eine Weckerklingel anschließen, die bei auftretendem Nordlicht die Forscher an die Apparate ruft; vorher geschah dies durch einen Wachtposten, der im Freien frierend den Nachthimmel beobachten mußte.

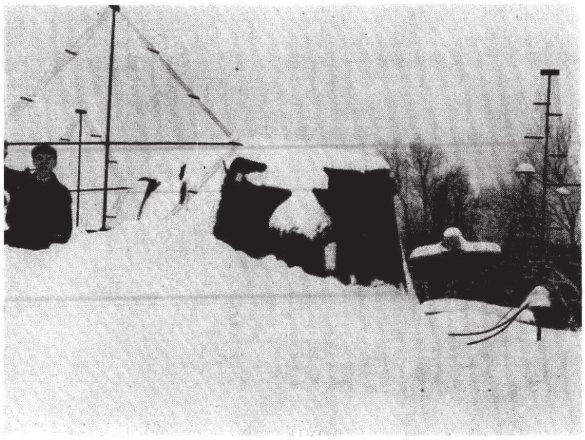

Abb. 8. Zelt und Rahmen tief verschneit.

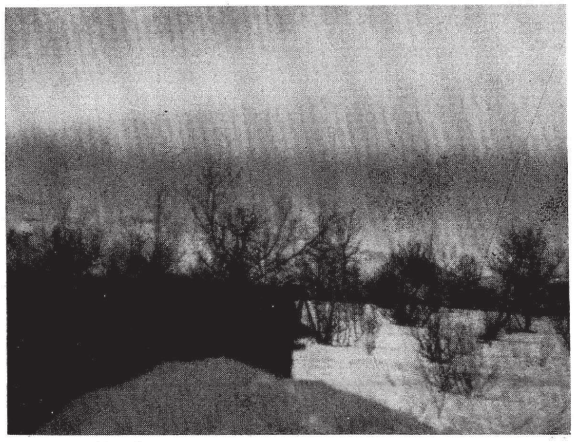

Abb. 9. Ausgedehntes Nordlicht über der Landschaft.

Die Aufzeichnungen der Nordlichthelligkeit müssen zusammen mit den gleichzeitigen Beobachtungen der anderen Elemente betrachtet und diskutiert werden, namentlich mit den magnetischen Störungen, den Peilschwankungen, den Feldstärke- und Echomessungen. Der Zeitpunkt hierfür ist noch nicht gegeben, und es mag daher der Hinweis auf einen typischen und eindeutigen Zusammenhang genügen, der durch Abb. 12 veranschaulicht wird: die Feldstärke der beobachteten Rundfunksender sinkt mit dem Einsetzen der Nordlichttätigkeit stark ab. Je nach der zwischen den einzelnen Nordlichtausbrüchen liegenden Zeit wird eine mehr oder weniger schnelle Erholung der Feldstärke festgestellt.

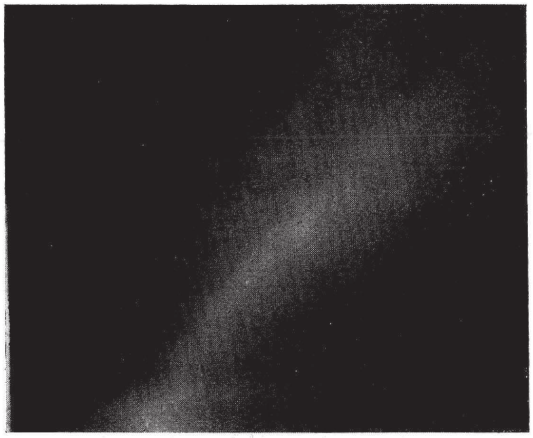

Abb. 10. Großer Nordlichtbogen.

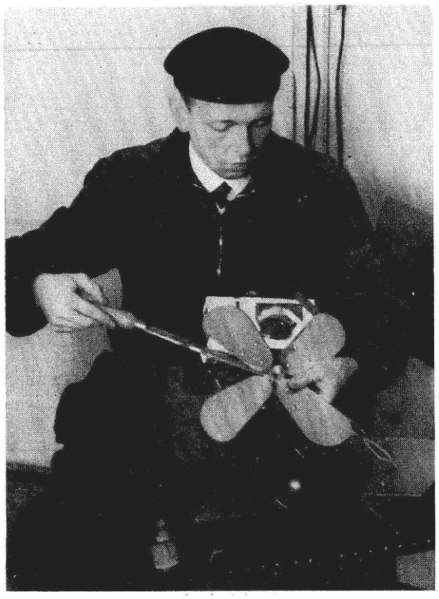

Abb. 11. Herr Stoffregen montiert den Ventilator zur Modulierung des auf die Photozelle wirkenden Lichtstromes.

### c) Messung und Aufzeichnung von Feldstärken und Peilschwankungen europäischer Rundfunksender.

Abb. 13 zeigt die grundsätzliche Anordnung zur Beobachtung der Feldstärken und Peilschwankungen. Die zu untersuchende Welle wird mit zwei senkrechten Rahmen $R_1$ und $R_2$ von 2 m²

Fläche aufgenommen, die im Winkel von 90° stehen und auf zwei gleiche und auf gleiche Empfindlichkeit eingestellte Empfänger $E_1$ und $E_2$ wirken. Jeder Empfänger ist mit seinem Ausgang an je eine der beiden um 90° versetzten Feldspulen *KS* eines schreibenden Milliamperemeters angeschlossen. Die Skala ist in Winkelgrade geteilt und zeigt unmittelbar die Peilrichtung an. Zur Verbindung der Rahmen mit den Empfängern dienen kapazitätsarme Hochfrequenzkabel („Vacha"-Kabel, Kapazität 33 cm/m), die sich in elektrischer Hinsicht unter den Witterungsverhältnissen der Polarzone gut bewährt haben.

Dasselbe Gerät dient auch zur Messung der Feldstärke, indem die von dem einen Empfänger gelieferte Spannung besonders aufgezeichnet wird; die Feldstärke ergibt sich durch Division des aufgezeichneten Wertes durch den Cosinus des Peilwinkels. Auf diese Weise ist es möglich, die von Schwund herrührenden Feldschwankungen von denjenigen Schwankungen der Empfangsstärke zu trennen, die von der Änderung der Peilrichtung herrühren. Absolut geeicht wird

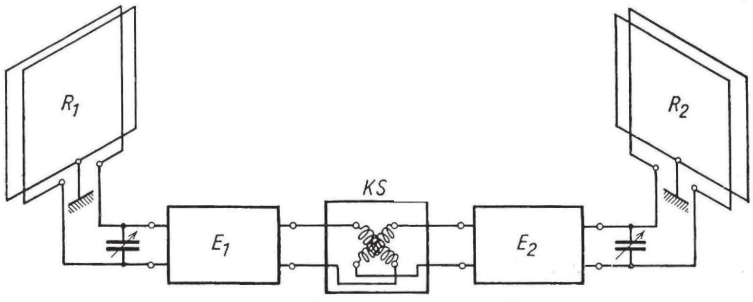


Abb. 13. Grundsätzliche Anordnung des Geräts zum Messen und Aufzeichnen von Feldstärken und Peilschwankungen.

das Gerät nach einem Verfahren von G. Leithäuser mittels Hilfssenders, wobei die vom Rahmen aufgenommene Leistung durch einen Elektronenrohrwiderstand meßbar auf den Feldstärkewert der zu untersuchenden Welle geschwächt wird[10]). Schließlich kann durch einen horizontal angeordneten Rahmen die Vertikalkomponente des magnetischen Vektors der ankommenden Welle ermittelt werden. Die Empfindlichkeit der Anordnung mußte hoch gesteigert werden, da die Feldstärke der deutschen Rundfunksender im Sommer in Tromsö recht klein ist; im Juni 1933 betrug z. B. die mittlere Feldstärke des Breslauer Senders nur 5 $\mu$V/m.

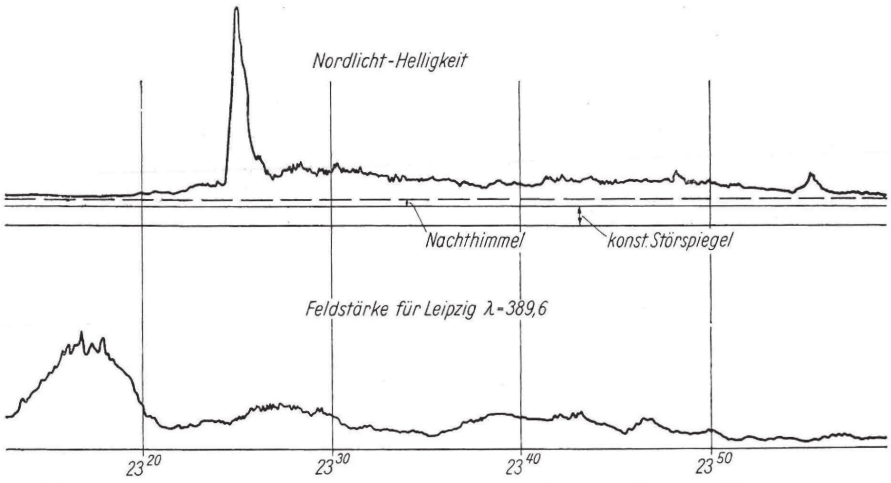


Abb. 12. Beispiel einer gleichzeitigen Aufzeichnung der Nordlichthelligkeit und der Empfangsfeldstärke eines fernen Rundfunksenders.

Die Aufstellung der Rahmen und ihre Bauart ist aus Abb. 7 und 8 ersichtlich.

Die bisher vorliegenden Aufzeichnungen lassen deutlich zwei verschiedene Erscheinungstypen erkennen, die mit der Intensität der erdmagnetischen Schwankungen zusammenhängen und durch Abb. 14 veranschaulicht werden können. An magnetisch unruhigen Tagen sind die Feldstärken meistens klein, aber einigermaßen stetig; die Peilschwankungen sind gering. In magnetisch ruhiger Zeit schwankt dagegen der Peilwinkel stark; die Feldstärken nehmen große Werte an, die aber mehr oder weniger großen Schwankungen unterliegen (Fadings). Diese Angaben sollen natürlich nur das durchschnittliche Verhalten kennzeichnen; im einzelnen gibt es mancherlei Abweichungen. Wir kommen später auf diese Zusammenhänge noch zurück (siehe Abb. 27).

### d) Echolotungen.

Für die Lotung der Ionosphäre stand uns während der Dauer des Polarjahres auf Grund der schon erwähnten Vereinbarung mit der englischen Expedition deren Sender in Simavik (20 km Entfernung, siehe Abb. 2) zur Verfügung.

[10]) Sitz.-Ber. d. Preuß. Akad. d. Wiss., l. c. S. 917, Abb. 4.

Er wurde mit einer Leistung von 100 bis 300 W betrieben und sandte netzsynchronisierte Impulse von $^1/_{10\,000}$" bis $^1/_{3000}$" aus. Auf der Empfangsseite mußte besonders wegen der in Tromsö vorhandenen starken Störungen, wegen der Oberrungen, die durch den Gang der Sonne bedingt sind, überlagern sich unregelmäßige Schwankungen, die oft sehr schnell verlaufen und auf Einbrüche kosmischer Korpuskularstrahlung, vielleicht auch auf irdische Vorgänge, zurückzuführen sind.

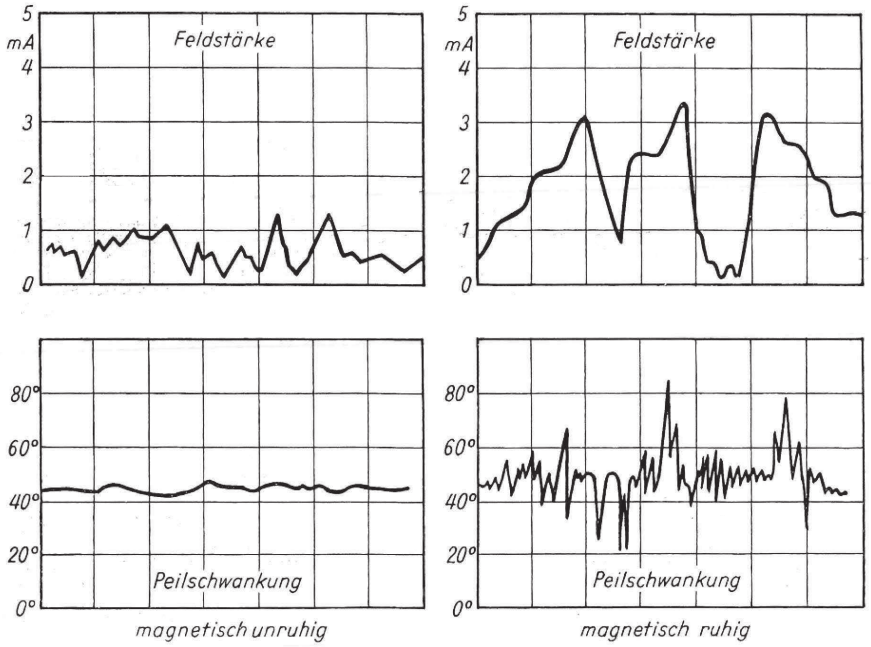


Abb. 14. Typischer Verlauf von Feldstärke und Peilschwankung an magnetisch unruhigen und ruhigen Tagen.

Ein eindrucksvolles Bild vermittelt ein kinematographischer Film, der von den Herren Dr. Kreielsheimer und Stoffregen in Tromsö aufgenommen und der während des Vortrags vorgeführt wurde[11]). Aus diesem Film sind nachstehend einige bemerkenswerte Momentbilder von Echooszillogrammen bei der 150 m-Welle wiedergegeben. Abb. 16 zeigt eine kräftige Doppelreflexion an der unteren Schicht. Da der Abstand zwischen dem Sender und Empfänger ziemlich groß ist (20 km), wird das Doppelecho von anderen Stellen der Ionosphäre zurückgeworfen als das Einfachecho. Manchmal haben diese Stellen verschiedene Beschaffenheit; dann kann es vorkommen, daß an der einen Stelle auch noch die Doppelbrechung merklich

welle des Ortssenders und den ungünstigen Ausbreitungsverhältnissen für die Bodenwelle (stark hügeliges Gelände, vgl. die Kartenbilder Abb. 2 und 3) auf große Selektivität und Empfindlichkeit besonderer Wert gelegt werden. Beides wurde durch einen mit drei abgestimmten Hochfrequenzkreisen, einem Audion und einer dreifachen Niederfrequenzverstärkung ausgerüsteten Empfänger erreicht. Die Zeichen wurden mittels Braunscher Röhre registriert. Dabei hat sich die von der AEG entwickelte Röhre mit indirekter Heizung und hoher Fleckhelligkeit gut bewährt.

Abb. 15 läßt auf dem Schirm der in einem Metallkasten eingebauten Braunschen Röhre ein Echooszillogramm erkennen; der starke Ausschlag links entspricht dem Bodensignal, der kleinere rechts davon rührt von dem an der Ionosphäre reflektierten Echosignal her; der zeitliche Abstand beider ergibt die scheinbare Höhe der Reflexionsfläche. Da die Ionosphäre zeitlichen Änderungen unterliegt, steht das Echosignal auf dem Oszillogramm nicht still, sondern ändert sich in seiner Stärke, Gestalt und Lage. Den langsamen Ände-

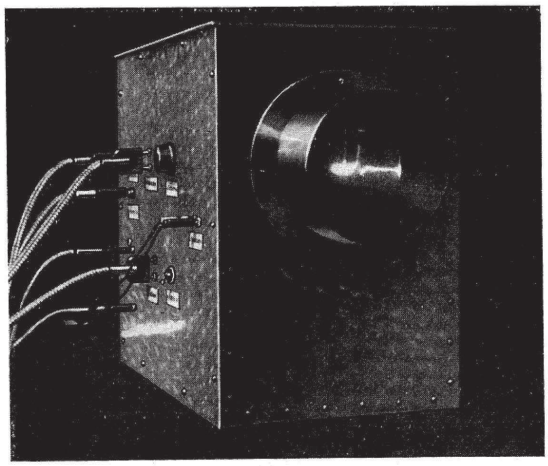

Abb. 15. Braunsche Röhre mit Boden- und Echosignal.

[11]) Zur näheren Erläuterung der elektromagnetischen Echolotung wurde diese Aufnahme von den Herren Fehr und Dr. Hollmann durch hübsche Trickbilder ergänzt, die den Vorgang der Wellenreflexion und -brechung, sowie das weiter unten besprochene Aufzeichnungsverfahren veranschaulichen; vgl. W. Fehr, Funkbastler 1933, S 817.

hervortritt, an der anderen dagegen nicht. Dieser Fall liegt in den Abb. 17 und 18 vor; in Abb. 17 hat man die Aufspaltung des Signals durch Doppelbrechung beim ersten Echo, in Abb. 18 dagegen beim zweiten Echo. Mitunter findet eine mehrfache Aufspaltung statt, wie Abb. 19 zeigt. Im Falle der Abb. 20 ist nicht ohne weiteres zu entscheiden, ob es sich bei den beiden ersten Echos um Reflexionen an zwei verschieden hohen Schichten oder um eine sehr starke Aufspaltung innerhalb derselben Schicht handelt; beim dritten Echo bleibt es ebenfalls unklar, ob es von einer doppelten Reflexion an der gleichen Schicht herrührt, oder durch Zurückwerfung an einer höheren Schicht entstanden ist; dabei ist noch eine geringe Aufspaltung durch Doppelbrechung eingetreten. Eindeutig ist dagegen Abb. 21; hier liegt ein schwaches Einfachecho an der unteren Schicht und daneben ein starkes Doppelecho an der oberen Schicht vor; dabei ist das erste Echo an der oberen Schicht durch Doppelbrechung verbreitert; das Auflösungsvermögen der Schicht hat aber diesmal nicht hingereicht, die beiden Wellenstrahlen zu trennen. In Abb. 22 ist das Echo an der unteren Schicht so gut wie verschwunden; dagegen unterliegen die beiden Echos an der oberen Schicht so schnellen Intensitätsschwankungen, daß in dem Momentbild der Filmaufnahme zwei verschieden starke Echos übereinander aufgezeichnet worden sind. Abb. 23 ist ein Beispiel für die zeitweilig auftretende verwirrende Fülle von Echos: Aufspaltung des Signals durch Doppelbrechung an der unteren Schicht, daneben ein dreifaches Echo an der oberen. In Abb. 24 ist die Reflexion an der oberen Schicht bis auf einen kümmerlichen Rest verschwunden; an der unteren Schicht tritt eine starke Verbreiterung des Signals ohne Aufspaltung ein.

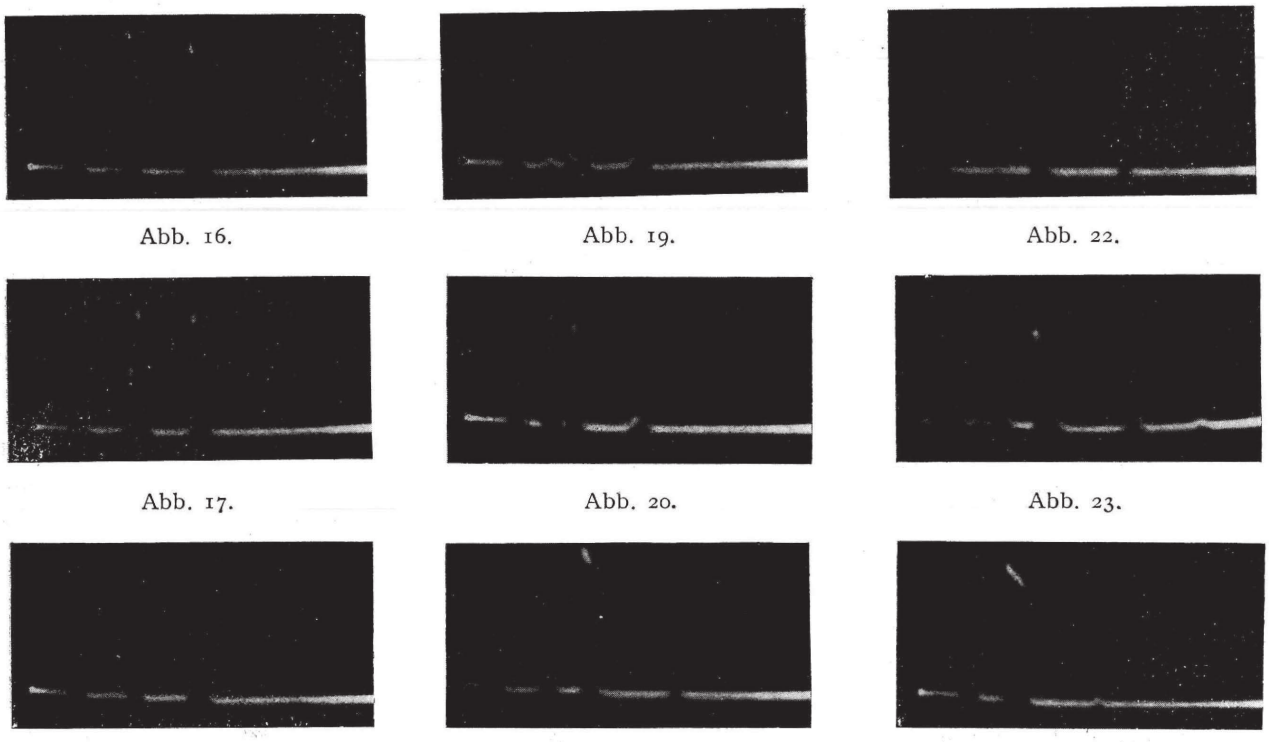

Abb. 16. Abb. 19. Abb. 22.
Abb. 17. Abb. 20. Abb. 23.
Abb. 18. Abb. 21. Abb. 24.

Abb. 16—24. Echooszillogramme verschiedener Art. (Erläuterung im Text.)

Wie bereits erwähnt, ist die Bedeutung einer Aufzeichnung mit mehreren Echos an Hand einer einzelnen Momentaufnahme manchmal schwer zu entziffern; eine klare und eindeutige Entscheidung ist aber fast immer möglich, wenn die Echos fortlaufend aufgezeichnet werden. Hierfür sind verschiedene Verfahren erdacht worden; unter ihnen erschien uns das von H. Rukop und P. Wolf angegebene besonders geeignet[12]). Es wurde von G. Leithäuser und seinen Mitarbeitern im Heinrich-Hertz-Institut für unseren Zweck etwas abgeändert.

[12]) H. Rukop und P. Wolf: Zs. f. tech. Phys. **13**, S. 132, 1932.

Man kann die Art der Aufzeichnung in verschiedener Weise variieren; hierüber haben H. E. Hollmann und K. Kreielsheimer in der ENT kürzlich berichtet[13]). Abb. 25 veranschaulicht eine Art

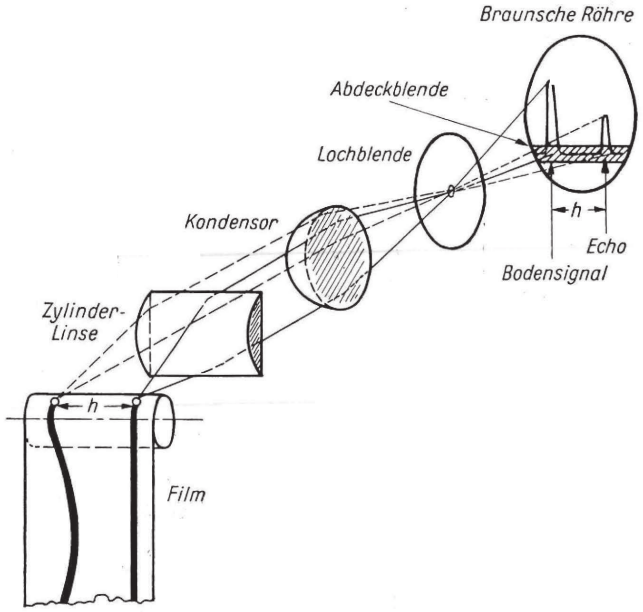


Abb. 25. Optik zur Übertragung der Echobilder vom Schirm der Braunschen Röhre auf den bewegten Filmstreifen zwecks Registrierung der scheinbaren Höhen $h$.

der Übertragung des Echos am Schirm der Braunschen Röhre auf den zur Aufzeichnung dienenden bewegten Film. Die Echoausschläge auf dem Schirm der Röhre werden durch eine Lochblende und Kondensorlinse auf den Film übertragen; die stark leuchtende Nullinie wird durch eine Blende abgedeckt. Durch eine Zylinderlinse wird der Echoausschlag auf einen Punkt zusammengezogen. Das Bodensignal gibt auf dem bewegten Film eine gerade Linie, das Echo erzeugt eine Kurve, deren Abstand $h$ von der Geraden ein Maß für die scheinbare Höhe der Reflexionsstelle ist.

Abb. 26 ist ein Beispiel für eine auf diese Weise erhaltene Aufzeichnung. Die dünne schwarze Linie am unteren Rande ist das Bodensignal. Nach Mitternacht hat man kräftige Echos sowohl an der unteren als auch an der oberen Schicht; an letzterer tritt außerdem ein schwaches Doppelecho auf. Bald nach $1^h$ verflüchtigt sich die untere Schicht; zugleich wird das Doppelecho an der oberen Schicht verstärkt. Im weiteren Verlaufe der Nacht wird wegen des Nachlassens der Ionisierung die scheinbare Höhe der oberen Schicht immer größer, um in den Morgenstunden mit zunehmender Beleuchtung wieder abzunehmen. Gegen Sonnenaufgang ($7^h$) tritt Doppelbrechung auf. Zu jeder vollen Stunde wird ein Wechselstromimpuls (etwa 2000 Hz) auf die Röhre gegeben; er zeichnet sich als punktierte Querlinie auf dem Film auf. Hierdurch wird die Eichung sowohl der Abszissen als auch der Ordinaten festgelegt.

Weitere Beispiele von Echoaufzeichnungen sind in der vorher erwähnten Veröffentlichung von Hollmann und Kreielsheimer mitgeteilt; dort ist auch gezeigt, wie man durch einen einfachen Kunstgriff neben der scheinbaren Schichthöhe auch die Echostärke auf demselben Filmstreifen aufzeichnen kann.

Mitteilungen über weitere Einzelergebnisse müssen bis zur Auswertung des gesamten Beobachtungsstoffes zurückgestellt werden.

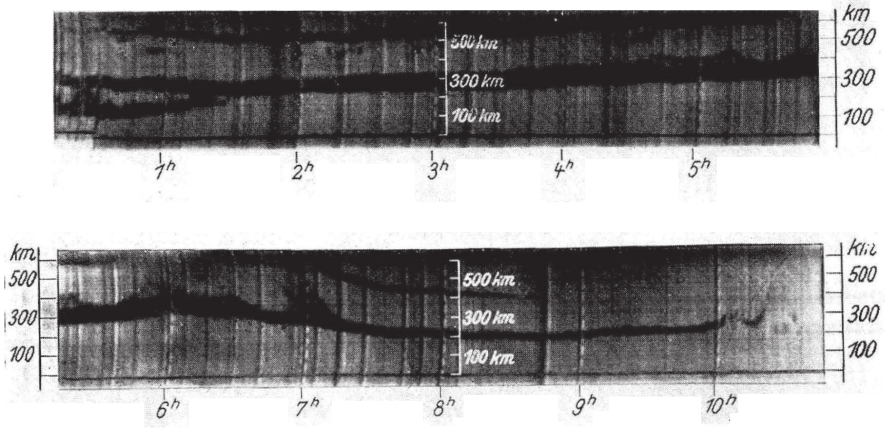


Abb. 26. Echoaufzeichnung vom 12. Februar 1933 bei 150 m Wellenlänge (2 MHz).

Als feststehend kann ein sehr bemerkenswertes Ergebnis der Echobeobachtungen in Tromsö gelten, das bereits aus dem vorläufigen Bericht[14]) der englischen Expedition bekannt geworden ist, und

[13]) ENT **10**, S. 392, 1933.

[14]) Appleton, Naismith u. Builder: „Nature" **132**, S. 340, 1933.

zwar das vollständige Aussetzen der Echos bei einigermaßen starkem Nordlicht und überhaupt bei größerer erdmagnetischer Aktivität. Diese Tatsache muß zunächst überraschen, da die Korpuskularstrahlung, die das Nordlicht hervorruft, zugleich auch die höhere Atmosphäre stärker ionisiert und diese daher besser reflexionsfähig machen sollte. Das beobachtete Gegenteil erklären die englischen Forscher damit, daß die von der Korpuskularstrahlung herrührende Ionisierung bis in Luftschichten herunterreicht, die unterhalb der normalen Ionosphäre liegen. Wegen des höheren Luftdrucks sind hier die Zusammenstöße zwischen den Ladungsträgern und den ungeladenen Molekülen viel häufiger, so daß die elektrischen Wellen in diesen Schichten stark absorbiert werden. Weitere Beobachtungen, insbesondere Echolotungen in einem größeren Wellenbereich, müssen zeigen, inwieweit diese Erklärung zutrifft.

In diesem Zusammenhang erscheint eine Tatsache recht bedeutungsvoll, die wohl schon bei allen kontinuierlich registrierenden Echountersuchungen gefunden wurde, nämlich der Ausfall der Echotätigkeit in der Mittagszeit, beim höchsten Sonnenstand und damit beim größten Ionisationsgrad. Dies wird u. a. auch durch die Messungen Goubaus[15]) bestätigt, der um die Mittagszeit Reflexion der kurzen Wellen von 150 m und darunter an der unteren Schicht findet, während eine Absorption der langen Wellen erfolgt. Ferner weisen Rukop[16]) und Wolf[17]) auf diese auffallende Absorption hin. Die Ursache dieser Erscheinung ist aus den genannten Arbeiten nicht ersichtlich. Aus den Beobachtungen unserer Expedition in den Monaten Januar bis Juni 1933 ergibt sich ein ganz eindeutiger Zusammenhang mit der Stärke der Beleuchtung der verschiedenen Schichten durch die Sonnenstrahlung. Mit zunehmender Beleuchtung beobachtet man zuerst eine wachsende Reflexionsfähigkeit der betreffenden Schicht, bis zu einem Punkte, von dem an die Echos wieder schwächer werden, um zuletzt ganz auszufallen. Der beobachtete Befund ist also ganz derselbe wie bei einer durch Korpuskularstrahlung erhöhten Ionisierung. Ob auch bei verstärkter Sonnenstrahlung die Erklärung des Echoausfalls durch eine merklich größere Ionisierung tieferer Luftschichten und eine dadurch verursachte stärkere Absorption zutrifft, muß noch dahingestellt bleiben.

Zum Schluß möchte ich noch eine von Herrn Dr. Kreielsheimer angefertigte Übersicht über einige funktechnische Beobachtungen im ersten Halbjahr 1933 im Vergleich zur erdmagnetischen Aktivität zeigen (Abb. 27). Die Tagesmittelwerte der magnetischen Störungen, deren Angabe wir dem freundlichen Entgegenkommen von Herrn Direktor Harang verdanken, sind in der ersten Reihe aufgetragen. Die zweite gibt die Zahl der Stunden am Tag an, während welcher Echos erhalten wurden, unabhängig von der reflektierenden Schicht. In der dritten Reihe sind die Feldstärken der Breslauer Rundfunkwelle (325 m) aufgetragen, in der vierten die Peilabweichungen derselben Welle.

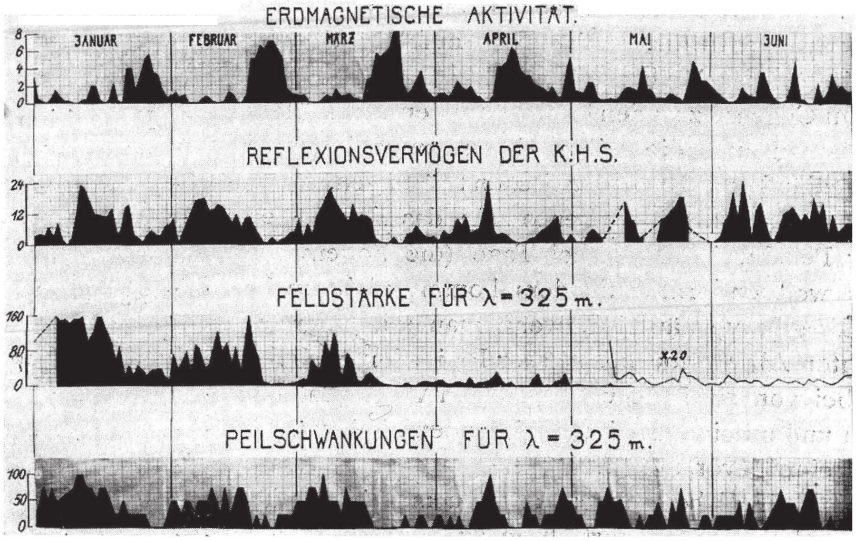


Abb. 27. Gegenüberstellung von funktechnischen Beobachtungen in Tromsö im ersten Halbjahr 1933 zum Verlauf der erdmagnetischen Aktivität. Die wellenelektrischen Elemente verändern sich gegenläufig zu den erdmagnetischen.

Sehr beachtenswert ist die vollkommene Gegenläufigkeit des Reflexionsvermögens, der Feldstärke und Peilabweichung mit den erdmagne-

[15]) Goubau: ENT **10**, S. 74, 1933.
[16]) Rukop: ENT **10**, S. 56, 1933.
[17]) Wolf: Ztschr. f. Hochfr. u. Elektroak. **41**, S. 52, 1933.

tischen Störungen. Auch in dem Verlauf der elektrischen Elemente erkennen wir die 27tägige Periode der Korpuskularstrahlung, nur fallen jedesmal die Maxima der elektrischen Elemente mit den Minima der erdmagnetischen Störung, d. h. mit den Minima der Korpuskularstrahlung zusammen.

Bei den Feldstärken überlagert sich diesem Gang der Einfluß der ultravioletten Sonnenstrahlung, der an der Abnahme der Feldstärkemaxima an magnetisch ruhigen Tagen im Verlauf der Zeit von Januar bis Juni deutlich zu erkennen ist. Im April werden die Feldstärken sehr klein, da die Mitternachtssonne bereits die Höhe von 100 km über unserem Beobachtungsort erreicht hat; Mitte Mai ist sie schon auf dem halben Übertragungswege, d. h. etwa auf der Strecke Tromsö—Stockholm, wirksam.

Im Gegensatz zu den Beobachtungen von Düll[18]) verlaufen auch die Peilabweichungen vollkommen gegenläufig zu den magnetischen Störungen. Auch dieses Ergebnis ist, ebenso wie das Ausbleiben der Peilabweichungen bei Tage (die Bodenwelle des weit entfernten Senders kommt nicht mehr in Frage), verständlich, wenn man mit einer erhöhten Absorption bei starker Ionisation rechnet, wobei von zwei auf verschiedenen Wegen laufenden und miteinander interferierenden Wellenzügen der eine bevorzugt erscheint.

Um die Echolotungen nach dem Abbau des englischen Senders fortführen zu können, haben die Herren Dr. Kreielsheimer und Stoffregen einen 0,5 kW starken Impulssender gebaut und kürzlich in Sandnes (siehe Abb. 3) in Betrieb genommen. Ferner wurden Vorkehrungen zum gleichzeitigen Senden und Empfang auf der Grundwelle und einer Oberwelle getroffen. Vorerst sollen die Wellen 150 m und 75 m des internationalen Polarjahres verwendet werden.

Zum Schluß noch ein paar allgemeine Worte über die Arbeitsweise einer auf fernem Außenposten tätigen wissenschaftlichen Expedition. Es ist ohne weiteres klar, daß die Beobachtungen draußen nicht so einfach und leicht sind, wie im heimatlichen Institut; aber von dem Umfang der zu überwindenden großen und kleinen Schwierigkeiten kann sich der Außenstehende doch keine rechte Vorstellung machen. Wie wohlbedacht auch die apparative Ausrüstung gewesen ist, die der Expedition von hier aus mitgegeben wurde, es haben sich dennoch fast bei jedem Gerät größere oder kleinere Änderungen als nötig erwiesen, ehe es unter den besonderen Umständen des Forschungsortes vollkommen befriedigend arbeitete. Dank dem erfinderischen Geist und der großen technischen Geschicklichkeit unserer beiden Herren Dr. Kreielsheimer und Ing. Stoffregen ist es aber immer gelungen, all dieser Schwierigkeiten Herr zu werden. Ihre unermüdliche Arbeit und ihre Begeisterung für die Sache, mit der sie jedes Opfer an persönlicher Bequemlichkeit auf sich nehmen, verdient die volle Anerkennung.

[18]) ENT **9**, S. 308, 1932.